

El efecto invernadero y la absorción térmica del CO₂:

D36

una práctica experimental de termodinámica inspirada en Eunice Foote

Valeria Dorantes García; Andrés A. Velasco Medina¹; Alma Miriam Novelo-Torres; Arturo A. García Figueroa; Jesús Gracia Fadrique; Miguel Ángel Pimentel Alarcón; José L. López Cervantes^{1,*}

¹Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México · *jllopezcervantes@quimica.unam.mx

Contexto y pregunta guía

Se presenta una práctica de para el Laboratorio de Termodinámica que retoma el experimento de Eunice Foote (1856) y lo reformula como aprendizaje basado en problemas.

Pregunta guía: ¿cuál es el efecto del CO₂ en la temperatura cuando se expone a luz infrarroja?

Metodología

- Sistemas: PET-aire, PET-CO₂, vidrio-aire y vidrio-CO₂.
- Recipientes: botella PET y matraz de vidrio de 1 L.
- Presión del gas de estudio en el recipiente: 30 inH₂O
- Producción de CO₂ mediante la reacción de ácido cítrico + NaHCO₃.
- El sistema se purga con 5 ciclos carga/descarga.
- Irradiación: lámpara IR 10 min; disipación 30 min.
- Registro de temperatura cada minuto mediante un sensor digital de 0.1 °C.

Montaje experimental



PET + lámpara IR



PET + carga de CO₂



Vidrio + carga de CO₂

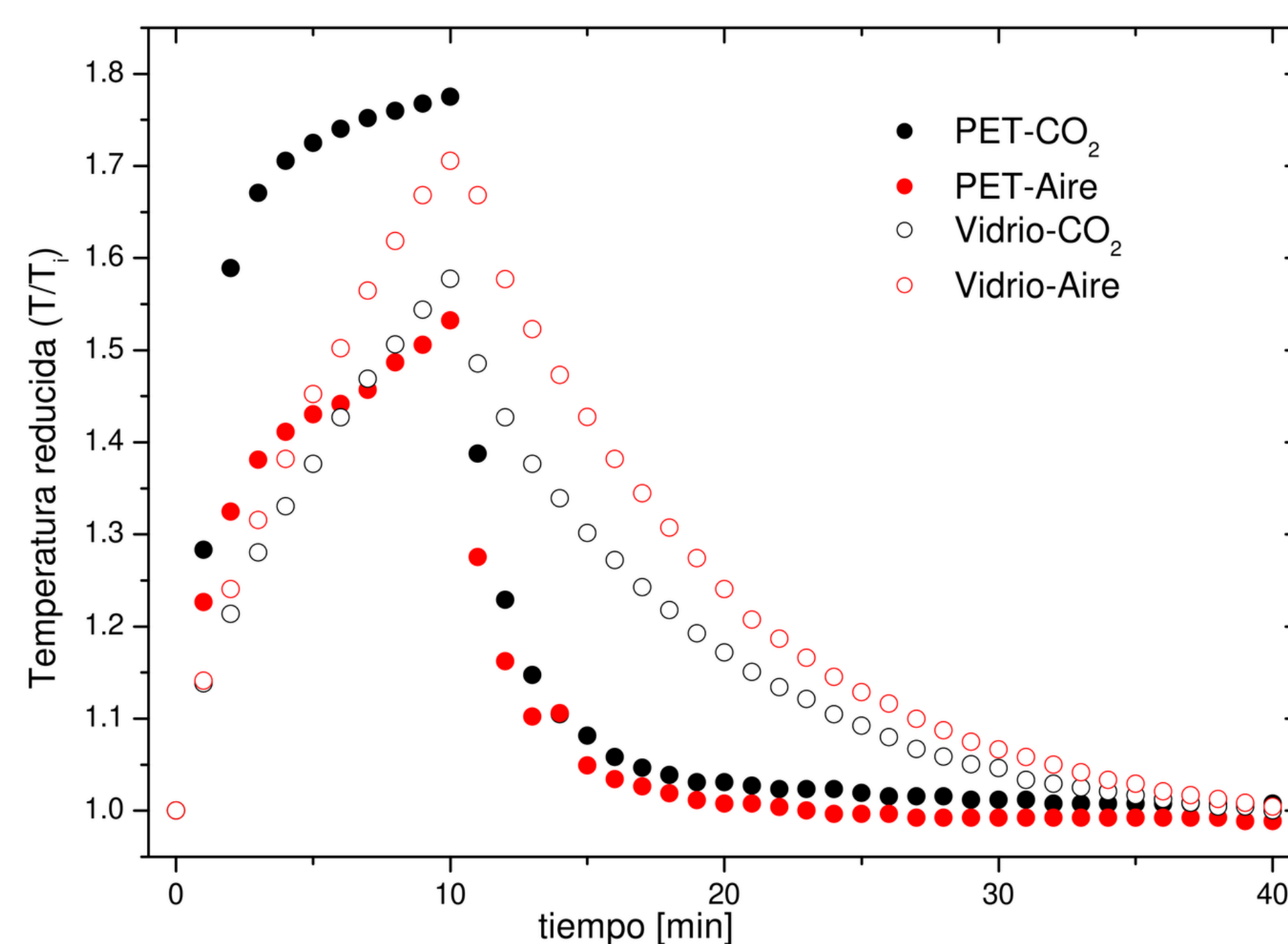


Vidrio + lámpara IR

Resultados:

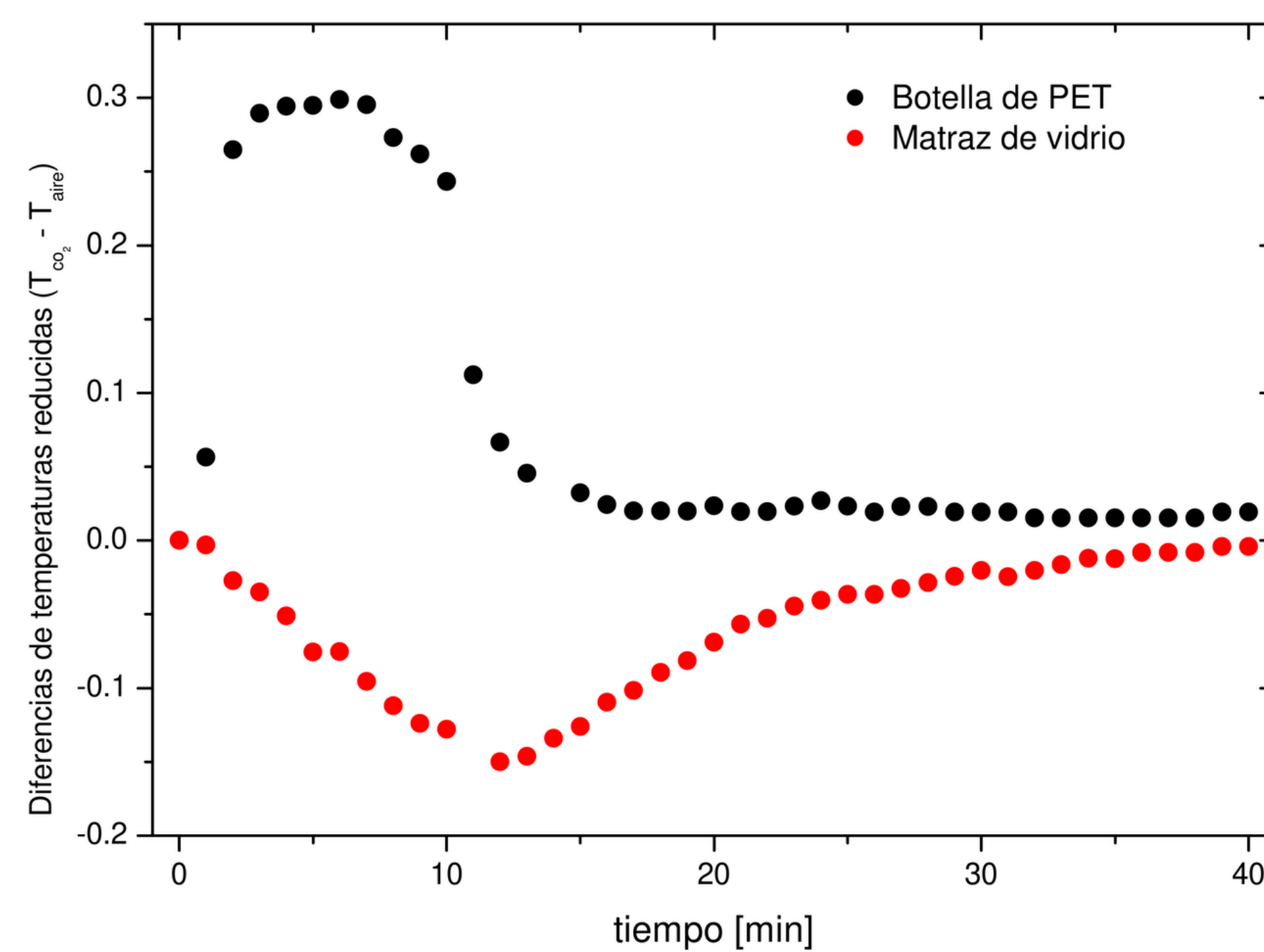
Se normalizó cada registro como temperatura reducida: $T_r = T/T_i$ para considerar el efecto del cambio de la temperatura ambiente entre cada experimento. En todos los sistemas la temperatura aumenta durante la irradiación y desciende al apagar la fuente.

Gráfica 1. Temperatura reducida



Comparación PET-CO₂, PET-aire, vidrio-CO₂ y vidrio-aire.

Gráfica 2. Efecto neto del CO₂



$\Delta T_r = T_r(\text{CO}_2) - T_r(\text{aire})$. Valores positivos: mayor calentamiento con CO₂.

Hallazgos clave

- PET: $\Delta T_r > 0$ debido a la absorción radiativa del CO₂ en el espectro infrarrojo, la radiación es el mecanismo dominante en el aumento de temperatura.
- Vidrio: $\Delta T_r < 0$; la pared de vidrio absorbe IR la conducción domina el efecto del aumento de temperatura.
- El montaje muestra que el material del recipiente puede cambiar la interpretación física del experimento.

Absorción de IR: CO₂, vidrio y PET

CO₂: las bandas vibracionales cerca de 4.3 μm y 15 μm explican su absorción en el IR [3,4].

Aire seco: N₂ y O₂ son casi transparentes al IR porque son moléculas homonucleares sin dipolo vibracional permanente; en aire real también influyen H₂O y trazas de CO₂.

Vidrio borosilicato: transmite visible/NIR, pero bloquea gran parte del IR medio; la pared se calienta y transfiere calor al gas por conducción [5].

PET: sí tiene bandas FTIR (C=O ~1720 cm^{-1} ; C-O ~1240–1100 cm^{-1}); no debe asumirse transparente a todo el IR [6] aunque es menor la absorción que en vidrio.

Capacidad calorífica

A 298 K, el CO₂ tiene mayor $C_{p,m}$ y $C_{v,m}$ que el aire. Por tanto, para el mismo calor absorbido por mol tendería a calentarse menos; el mayor ΔT en PET implica mayor Q absorbido por radiación.

Gas	$C_{p,m}$	$C_{v,m}$
Aire seco*	29.2 J mol ⁻¹ K ⁻¹	20.8 J mol ⁻¹ K ⁻¹
CO ₂	37.1 J mol ⁻¹ K ⁻¹	28.8 J mol ⁻¹ K ⁻¹

*Estimado como 79 % N₂ + 21 % O₂. $C_v = C_p - R$.

Interpretación

La botella de PET permite observar mejor la contribución radiativa del CO₂ porque reduce el artefacto de pared. En el matraz, el vidrio absorbe IR, acumula energía y calienta el gas por contacto. Por eso la señal puede invertirse y el aire aparentar mayor calentamiento.

Conclusiones didácticas

1. El sistema PET reproduce el contraste esperado CO₂ > aire.
2. El vidrio funciona como control didáctico del artefacto experimental.
3. La práctica integra termodinámica, espectroscopía, calentamiento global e historia de la ciencia.

Agradecimientos y referencias

Trabajo realizado gracias al Programa UNAM-PAPIME PE101026: "Evaluación de las propiedades termodinámicas del dióxido de carbono y su relación con el calentamiento global".

- [1] E. Foote, Am. J. Sci. Arts 22, 382–383 (1856).
- [2] IPCC, Climate Change 2023: Synthesis Report.
- [3] NIST Chemistry WebBook: CO₂ IR spectrum and thermochemistry; N₂/O₂ thermochemistry para estimar aire seco.
- [4] NASA/FAU, The Greenhouse Effect: CO₂ absorbs near 15 μm .
- [5] Ordu et al., Opt. Mater. Express 7, 3107–3115 (2017).
- [6] Chen et al., Eur. Polym. J. 48, 1586–1610 (2012).